

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 7月11日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-202842

[ST.10/C]:

[JP2002-202842]

出 願 人

Applicant(s):

アジレント・テクノロジーズ・インク

2002年11月 1日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2002-3086372

【書類名】 特許願

【整理番号】 10020188

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H03B 21/00  
G02F 1/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都八王子市高倉町 9 番 1 号 アジレント・テクノロジー株式会社内

【氏名】 手嶋 剛

【発明者】

【住所又は居所】 東京都八王子市高倉町 9 番 1 号 アジレント・テクノロジー株式会社内

【氏名】 山田 範秀

【特許出願人】

【識別番号】 399117121

【氏名又は名称】 アジレント・テクノロジーズ・インク

【代理人】

【識別番号】 100105913

【弁理士】

【氏名又は名称】 加藤 公久

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 086680

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9911735

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 波形合成方法、波形合成装置及び周波数変換装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所望の時間  $t$  の関数である波形  $n(t)$  を近似する波形  $g(t)$  を合成する方法であって、

前記波形  $g(t)$  を構成する成分波形の周波数  $f_1, \dots, f_m$  を決定するステップ、

所定の一つ或いは複数の時間区間を設定するステップ、

前記波形  $n(t)$  と前記成分波形の総和との差の自乗を前記時間区間に涉って積分した値が最小値をとるように前記成分波形のそれぞれの振幅と位相とを決定するステップ、及び、

前記決定された振幅と位相とを有する前記成分波形の和として前記波形  $g(t)$  を与えるステップとを有する波形合成方法。

【請求項 2】 前記成分波形の周波数が互いに調波関係にあることを特徴とする請求項 1 に記載の波形合成方法。

【請求項 3】 前記成分波形の大きさが所定の値より小さいときは該成分波形を除いた前記成分波形により前記波形  $g(t)$  を再計算するステップを追加したことを特徴とする請求項 1 あるいは請求項 2 に記載の波形合成方法。

【請求項 4】 所望の時間  $t$  の関数である波形  $n(t)$ 、該波形  $n(t)$  を近似するための成分波形の周波数  $f_1, \dots, f_m$ 、所定の一つ或いは複数の時間区間、を入力して、前記波形  $n(t)$  と前記成分波形の総和との差の自乗を前記時間区間に涉って積分した値が最小値をとるように前記成分波形のそれぞれの振幅と位相とを決定する計算制御手段と、前記計算制御手段に接続され前記決定された振幅と位相とを有する前記成分波形の和として近似波形  $g(t)$  を与えるため、各該成分波形を発生する調波発生装置とを備えた波形合成装置。

【請求項 5】 請求項 1 或いは請求項 2 のいずれかに記載された前記波形  $g(t)$  を有する波形を備えた変調信号を発生する変調信号発生器と、前記変調信号発生器に接続され、前記変調信号に応じて前記時間区間において、受信した入力信号を位相変調して該入力信号に所定の周波数偏移を与えて出力する位相変調器とを

備えた、周波数変換装置。

【請求項 6】

前記時間区間は周期的に発生するものである請求項 4 に記載の周波数変換装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は任意関数波形の発生と該関数波形の電気光学的利用に関する。

【0002】

【従来技術】

多くの産業技術分野において種々の関数波形が用いられている。特に、電気・電子技術、光技術の分野では、日々高速化する計測、通信技術の要請に応えるため、高速任意関数波形の発生技術が求められている。任意関数波形は、理想的には DC（直流）から無限大の周波数を有する周波数成分までを重ねあわせることによって表現する事ができるが、実際の用途では伝送媒質の周波数応答特性等により利用できる周波数に上限があり、発生できる波形の精度に制限がある。

【0003】

たとえば、繰り返し周期 25ps（40GHz）の理想的な鋸波電圧  $V_S$  を時間  $t$  の関数として図 1 に示す理想鋸波波形で発生し得たとする。鋸波電圧  $V_S$  はその折り返し点近傍に高周波成分が含まれる為、帯域制限媒体中を伝送させるのが困難となる。図 1 の鋸波電圧波形の 120GHz よりも高い周波数成分をすべて除去した波形を図 2 に示す。特に折り返し部で波形が鈍り理想鋸波を再現できていない事がわかる。

【0004】

有限周波数帯域幅内で所望の関数波形を発生する従来技術には、例えば、G. C. Temes et al, "The Optimization of Bandlimited Systems," Proc. IEEE, vol. 61, no. 2, pp. 196-234, Feb. 1973 に記載の帯域制限技術がある。該帯域制限技術の一つでは、時間  $t$  の関数である所望のシステム関数  $f(t)$  を、誤差の  $\min_{\max}$  手法による停留点から sinc 関数  $\{ \text{sinc}(t) = \sin(t)/t \}$  を基礎関数として Chebyshev 近似する。該帯域制限技術の別の一つでは、最小自乗近似により所定の帯域

遮断特性やロールオフ傾斜特性を有する近似関数をsinc関数の加重和として定義される基礎関数 $\psi_{m,n}$ で表現した。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、sinc関数の発生は容易とは言えず、特にアナログ的に発生させる場合や高周波では難しい。そこで、さらに簡便な関数波形の発生方法が求められている。また、帯域制限された伝送媒体において波形の歪みが生じた場合にはその歪を補正できることが望ましい。

【0006】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、本発明では最小二乗近似により、限られた周波数成分の重ねあわせを所定の範囲で最良化して任意の関数波形を表現し発生させる。

【0007】

本発明の一つでは波形合成方法が与えられる。それは、所望の時間 $t$ の関数である波形 $n(t)$ を近似する波形 $g(t)$ を合成する方法であって、前記波形 $g(t)$ を構成する成分波形の周波数 $f_1, \dots, f_m$ を決定するステップ、所定の一つ或いは複数の時間区間を設定するステップ、前記波形 $n(t)$ と前記成分波形の総和との差の自乗を前記時間区間に涉って積分した値が最小値をとるように前記成分波形のそれぞれの振幅と位相とを決定するステップ、及び、前記決定された振幅と位相とを有する前記成分波形の和として前記波形 $g(t)$ を与えるステップとを有する。

前記成分波形の周波数を互いに調波関係に選べば、それらの発生が容易となる。

また、前記成分波形の大きさが所定の値より小さいときは該成分波形を除いた前記成分波形により前記波形 $g(t)$ を再計算するようにすれば、発生すべき成分波形の個数が減って経済的である。

【0008】

本発明の他の局面では、所望の時間 $t$ の関数である波形 $n(t)$ 、該波形 $n(t)$ を近似するための成分波形の周波数 $f_1, \dots, f_m$ 、所定の一つ或いは複数

の時間区間、を入力して、前記波形  $n(t)$  と前記成分波形の総和との差の自乗を前記時間区間に涉って積分した値が最小値をとるように前記成分波形のそれぞれの振幅と位相とを決定する計算制御手段と、前記計算制御手段に接続され前記決定された振幅と位相とを有する前記成分波形の和として近似波形  $g(t)$  を与えるため、各該成分波形を発生する調波発生装置とを備えた波形合成装置が与えられる。

【0009】

上記のように合成した波形  $g(t)$  を有する波形を備えた変調信号を発生する変調信号発生器と、前記変調信号発生器に接続され、前記変調信号に応じて前記時間区間において、入力信号を位相変調して該入力信号に所定の周波数偏移を与えて出力する位相変調器とを備えた、周波数変換装置も本発明により与えられる。

前記時間区間は周期的に発生するようにしてもよい。このようにすれば、有意な信号部分が周期的に生ずる同期符号を有する系で便利である。

【0010】

【発明の実施の形態】

本発明を理解容易な実施例で説明するため、図1に示す鋸波電圧を採用する。本発明を鋸波以外にも適用できることは以下の説明から容易に理解される。理想波形である図1に示す鋸波の波形を時間  $t$  の関数  $n(t)$ 、その近似波形を同じく時間  $t$  の関数  $g(t)$  とする。波形  $n(t)$ 、 $g(t)$  とともに周期  $T$  の周期関数で、定数  $A_i$ 、 $B_i$ 、 $a_j$ 、 $b_j$  を採って、下式のようにフーリエ級数展開して表される。

【0011】

【数1】

$$n(t) = \sum_i (A_i \cos(\omega_i t) + B_i \sin(\omega_i t))$$

$$g(t) = \sum_j (a_j \cos(\omega_j t) + b_j \sin(\omega_j t))$$

【0012】

周期  $T$  を 25ps ( $F=1/T=40\text{GHz}$ ) とすれば、 $\omega_i$ 、 $\omega_j$  は  $2\pi f_i$ 、 $2\pi f_j$  で  $f_i$ 、 $f_j$  は 0 Hz

(直流 ; DC) と 40GHz 及び 40GHz の高調波成分からなる。

$g(t)$  では成分周波数  $w_j/(2\pi)$  に上限があり、例えば最大周波数  $F_{\max}$  を 120GHz 繰り返し周期  $T$  を 25ps とすれば、 $f_j$  は 0 Hz (直流 ; DC)、40GHz、80GHz 及び 120GHz の 4 成分周波数のみを有する。

最小自乗法により  $g(t)$  を決定するため、下式により  $x$  を定義する。

【 0 0 1 3 】

【数 2】

$$\xi = \int_0^1 [n(t) - g(t)]^2 dt$$

【 0 0 1 4 】

ここで積分区間  $[t_0, t_1]$  は、最良化を行いたい時間領域である。この  $x$  を、各周波数成分の係数  $a_j$ 、 $b_j$  で下式のとおり偏微分して該偏微分を 0 とおく。

【 0 0 1 5 】

【数 3】

$$\frac{\partial \xi}{\partial a_j} = \frac{\partial}{\partial a_j} \int_0^1 [n(t) - g(t)]^2 dt$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial b_j} = \frac{\partial}{\partial b_j} \int_0^1 [n(t) - g(t)]^2 dt$$

【 0 0 1 6 】

得られた連立方程式を満たす係数の組  $CS = \{a_0, a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3\}$  を求めると、該係数の組持つ関数  $g(t)$  が、 $n(t)$  の最良推定関数で最良近似鋸波となる。各組  $\{a_j, b_j\}$  により各周波数成分の振幅と位相とが決定される。

この方法を用い、 $[t_0, t_1] = [2.5\text{ps}, 15\text{ps}]$  として、この領域の線形部を最良化した最良近似鋸波の波形が図 3 に示す波形である。図 3 は、最大周波数 120GHz までの周波数成分で生成した最良近似鋸波の波形を実線で示し、理想鋸波の波形を破線で示す。近似誤差は、 $T_{\text{opt}} = t_1 - t_0$  において次式の標準偏差値  $\sigma$  で評価できる。

【 0 0 1 7 】

【数 4】

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{T_{opt}} \cdot \int_0^1 [n(t) - g(t)]^2 dt}$$

【 0 0 1 8 】

ここで  $[t_0, t_1]$  は最良近似すべき時間範囲で、本件では  $t_0 = 2.5\text{ps}$ 、 $t_1 = 15\text{ps}$  である。この式から、図3の最良近似された波形では標準偏差値  $s = 5.10 \cdot 10^{-4}$  (V) であり、理想波形に対し1/1000以下の誤差にとどまっている。なお、図4には比較のため、120GHzまでの高調波成分でつくった、最良近似されていない鋸波波形を示す。該鋸波波形は図3の理想波形における第二高調波成分のみ位相を10度ずらしたものである。この鋸波波形の2.5ps～15psの切り出し波形について、同様に誤差を求めると  $s = 12.1 \cdot 10^{-3}$  (V) で、1/100程度の誤差を含んでいる。

【 0 0 1 9 】

図5は、第二高調波成分の位相  $\phi$  の変化に応じて、鋸波波形の理想波形に対する誤差がどう変化するかを表す。横軸は第二高調波成分の位相  $\phi$  を、最適化された波形における第二高調波成分の位相を0ラジアンとして示す。縦軸は  $\phi$  に対する標準偏差の値  $s$  を表す。この図から、最適化によって波形の標準偏差が最小になっている事がわかる。従って、本発明の実施により、この実施例では、最良化によって1～2桁程度の誤差の低減が得られる。

【 0 0 2 0 】

ある成分波形の振幅（大きさ）が所定の大きさより小さいときは、該成分を除いて、再度近似波形を計算して、やはり所望の標準偏差値を得るならば、少ない成分により近似を行なうことができ経済的である。振幅が所定の大きさより小さいとは、成分の大きさの順で最小であるか、標準偏差値の所定比（1：100とか）以下である、などである。

逆に、標準偏差値が所望の値以上であるならば、周波数成分の追加や、別の周

波数成分との置換えの後、追加再計算を考えてもよい。

#### 【 0 0 2 1 】

本発明を実施して合成して波形を発生する任意波形発生法の応用として、光周波数変換装置を考える事ができる。

媒質を通過する光の位相は遅延時間に比例し、また遅延時間は媒質の屈折率に比例する。さらに、光の位相の時間微分は光の周波数であるから、該遅延時間の時間微分は光の周波数の偏移を与える。したがって、媒質の屈折率を時間の関数として変化させれば、光の周波数を変化させることができる。たとえば、屈折率の変化が、時間に比例するならば、その比例定数に比例した周波数の偏移が生じ、光周波数変換をおこなう事ができる。

#### 【 0 0 2 2 】

媒質の屈折率が $n(t)$ に比例して（一般性を失うこと無く、比例定数を 1 とする。）、時間に対して直線的に変化する該媒質を、周期 25ps で繰り返す光信号が伝搬する本発明の一実施例に付いて以下にのべる。この光信号において、例えば、所望の波束が 2.5ps ～ 15ps 間にあるとする。この波束に対して、 $n(t)$  の直線的変化部分に対応させる。すると、前式のように変調後の  $l$  は屈折率の時間変化に比例するので、該所望の波束全体において、ほぼ一定の周波数偏移が得られる。

#### 【 0 0 2 3 】

図 6 は一実施例の光周波数変換装置 5 0 の概略ブロック図である。光入力端子 5 1 に入力された信号光は光位相変調器 5 2 に入力されて変調され、濾波器 5 3 を経由して光出力端子 5 4 に出力される。変調信号発生器 5 5 は外部入力端子 5 6 からの外部変調入力や自身が発生する内部変調信号を適宜選択発生して変調信号を発生し、該変調信号で光位相変調器 5 2 を駆動する。外部変調入力は、前記信号光を分岐して該子信号光を同期検波回路で検波し該子信号光の強度が所定レベルを超える注目時間区間  $T$  を同期的に検出して変調信号としてもよい。

#### 【 0 0 2 4 】

図 7 に光位相変調器 5 2 に入力される光信号 6 2 と変調信号 6 4 との関係を示す。光位相変調器 3 は変調信号 6 4 (V) により光信号の位相が位相変調される。

光信号 6 2 を  $A \times \sin(\omega_0 t + \phi)$  , 変調信号 6 4 を  $V$ 、位相変調関係式  $\phi = a V + b$  ( $a$ 、 $b$  は定数) とすると、出力光信号  $V_0$  は  $A \times \sin(\omega_0 t + a V + b)$  となる。ただし、 $t$  は時間、 $A$ 、 $\omega_0$ 、 $\phi$  は、光信号 6 2 の振幅、角周波数、位相変調項であり、 $a$ 、 $b$  は定数である。

## 【0 0 2 5】

一実施例では、変調信号 4 4 が注目する時間区間  $T$  (それ以外の時間区間は  $T_n$  として示す。) において一定傾斜であり、 $a V + b = \omega_m t + \phi_0$  と表せば  $V_0 = A \times \sin(\omega_0 t + a V + b) = A \times \sin(\omega_0 t + \omega_m t + \phi_0) = A \times \sin\{(\omega_0 + \omega_m) t + \phi_0\}$  となり、出力光信号の周波数は  $\omega_0 + \omega_m$  となる。変調信号の傾斜の正負すなわち  $\omega_m$  の正負に応じて正負の周波数変換が行なわれ得る。位相変調器としては、たとえば導波路型位相変調器である。周波数変換では傾斜が重要であり、位相オフセットはそれほど問題ではない。

濾波器 8 は光変調器 3 の出力のうち  $(\omega_0 + \omega_m)$  成分を出力端子へ通過させる。帯域、低域、高域濾波器のいずれでもよいが、価格、不要信号除去能力等により選択してもよい。

## 【0 0 2 6】

例として、屈折率の変化が  $n(t)$  で該  $n(t)$  が時刻 0ps で 1.5、17.5ps で 1.499、25ps で 1.5 と V 字型に変化する媒質を入力波長 1.55nm で伝搬する信号光の波束について例示する。このように屈折率を変化させると、出力周波数として、0~17.5ps では 1.547nm となる出力が得られ、数 nm 程度の周波数変調を得る事ができる。

## 【0 0 2 7】

さて、前述の通り媒質の周波数特性により、理想的な鋸波を生成する事は非常に困難である。従って該鋸波の低周波成分のみで鋸波に近いものを得る事は非常に有意義である。図 8 に最良近似波形  $g(t)$  を示し、該波形  $g(t)$  に従って変化する屈折率を備えた媒質を光が伝搬する場合の光波長の媒質出力時における変化を図 9 に示す。出力光波長  $l$  は、目標波長  $l_{\text{target}}$  に対し、2.5ps~15ps の時間区間において、波長誤差 0.07nm 程度ととなる。

## 【0 0 2 8】

また、本発明の別の実施例では  $n(t)$  が実際の屈折率が時間に対して直線的に変

化するように、理想鋸波の波形から変更されてもよい。屈折率を時間  $t$  の関数  $N(t)$  として変化させたいとき、屈折率が波形  $n(t)$  の関数として  $N(t)=H(n(t))$  であれば、 $n(t)=H^{-1}(N(t))$  とすればよい。ただし、 $H^{-1}$  は関数  $H$  の逆関数である。

【0029】

変調信号発生器 55 は、いわゆる任意波形発生器として知られるデジタル波形合成装置であってよいが、一つの基本波発生器と高調波発生器で構成し、各高調波をフィルタで選択して可変遅延回路或いは移相器と利得可変増幅器で調整した後基本波と調整された高調波全体を加算する構成としてもよい。高周波領域では比較的安価にできる利点がある。フィルタ、可変遅延回路或いは移相器と利得可変増幅器の設定は、上述のようにして、外付けあるいは内臓の計算制御手段によって予め求めてから自動あるいは手動でおこなうか、該計算制御手段により実時間計算によって逐次おこなうようにしてもよい。

【0030】

或いは、基本波発生器と高調波発生器とを別々の発振器として、それら発振器の出力を加算する構成としてもよい。それら発振器は互いに制御できる位相差を有するように、互いに位相ロックされる構成である。例えば、高調波発振器は基本波発振器の出力を参照波として所望の位相差を備える出力を発生するように位相ロックされる。該位相差は外部より制御することができる。このような技術は当業者に周知であり、これ以上の説明を省略する。

【0031】

また、近似すべき理想波形と該当時間区間に応じて、選択される周波数成分は単に調波関係にあるものが選ばれてもよい。例えば、0GHz、40GHz、80GHz、120GHz と選ぶ場合もあれば、0GHz、50GHz、100GHz、150GHz と選ぶ場合もあってよい。

或いは、調波関係にない（周波数比が有理分数とはならない）周波数成分を周期的にオン・オフ（初期化）して用いるものでもよい。近似精度の向上が望めるが、オン・オフ制御が許される低周波に限られよう。

【0032】

また、前記実施例に限らず、本発明のでは、近似波形のある周波数成分が、所

望の近似レベルに大きく影響しない強度のときには、該周波数成分を除去して、残余の周波数成分について最良近似波形を求めるようにしてもよい。このようにすれば、該周波数成分の発生部分を省略することができるので、装置全体の簡素化がはかられ且つ安価になる。

【 0 0 3 3 】

上述の実施例等では、近似すべき時間間隔を合成された波形の一周期当たり一つが連続しているとしたが、近似すべき所望の時間間隔に応じて断続的に幾つかを設けてもよいことは当然である。

また、上記実施例の説明では、光信号が変調されるとしたが、電気信号や音響信号などの変調も同様に可能であることは容易に考えられる。従って、そのような光信号以外の信号の変調も本発明の範囲にある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 繰り返し周期25psの理想鋸波波形を示す図である。

【図 2】 上限周波数120GHzで低域濾波された鋸波の波形を示す図である。

【図 3】 上限周波数120GHzで、時間範囲2.5ps～15psを最良化した近似鋸波の波形を示す図である。

【図 4】 上限周波数120GHzで、最良化されていない近似鋸波の波形図である

【図 5】 第二高調波成分の位相変化に伴う近似波形の誤差の変化を示す図である

【図 6】 光周波数変換回路のブロック図である。

【図 7】 光周波数変換回路の動作を説明するための図である。

【図 8】 上限周波数120GHzで、時間範囲2.5ps～15psを最良化した近似鋸波の波形図である。

【図 9】 図 8 の鋸波によって変調された光信号の波長を時間に対して示す図である。

【符号の説明】

5 0 光周波数変換装置

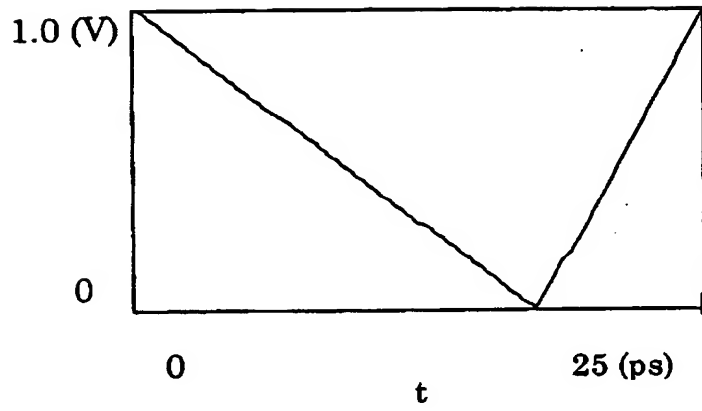
5 1 光入力端子

5 2 光位相変調器

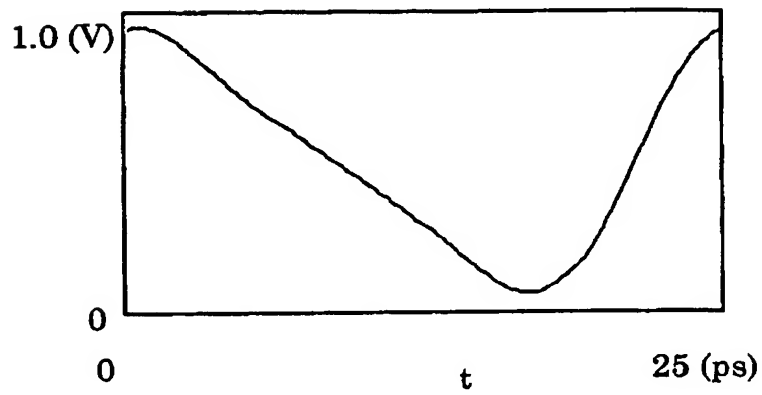
- 5 3 濾波器
- 5 4 光出力端子
- 5 5 変調信号発生器
- 5 6 外部入力端子
- 6 2 光信号
- 6 4 変調信号

【書類名】 図面

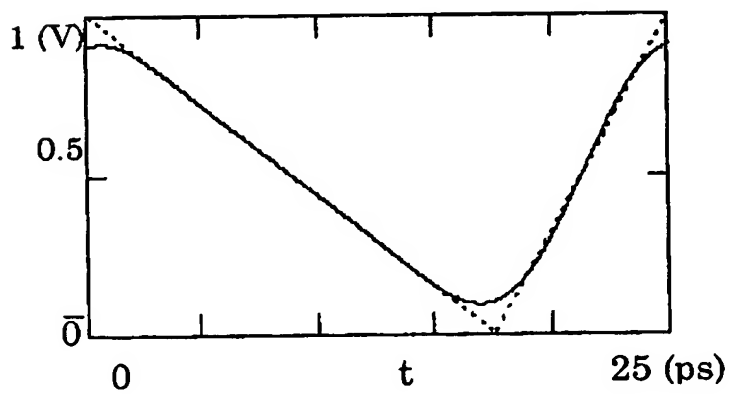
【図 1】



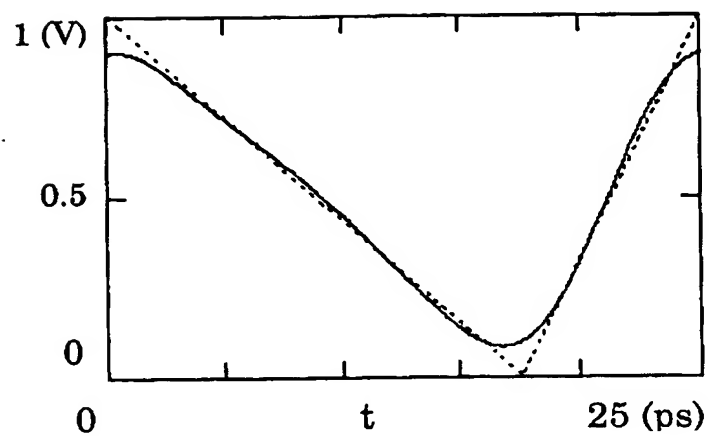
【図 2】



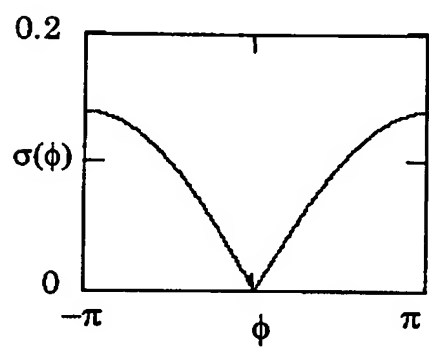
【図 3】



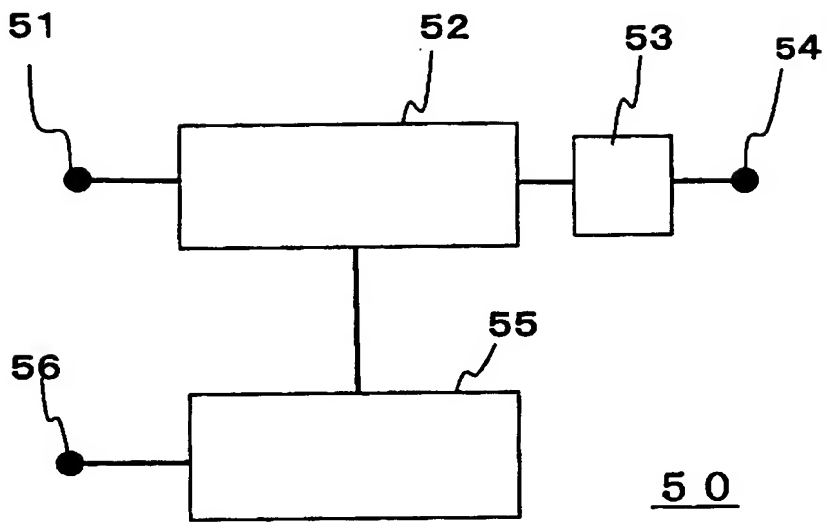
【図 4】



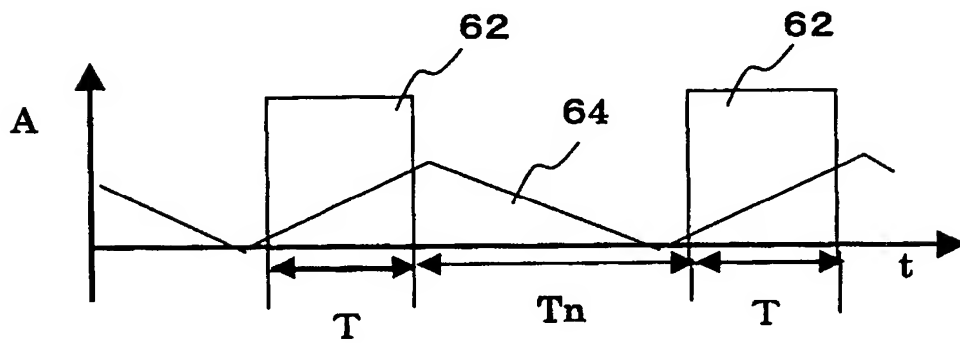
【図 5】



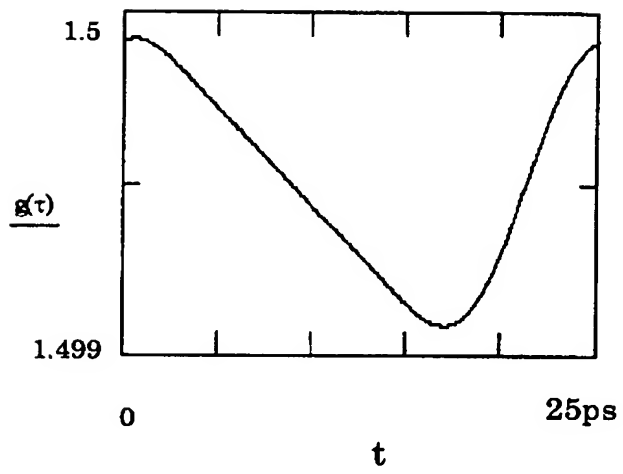
【図 6】



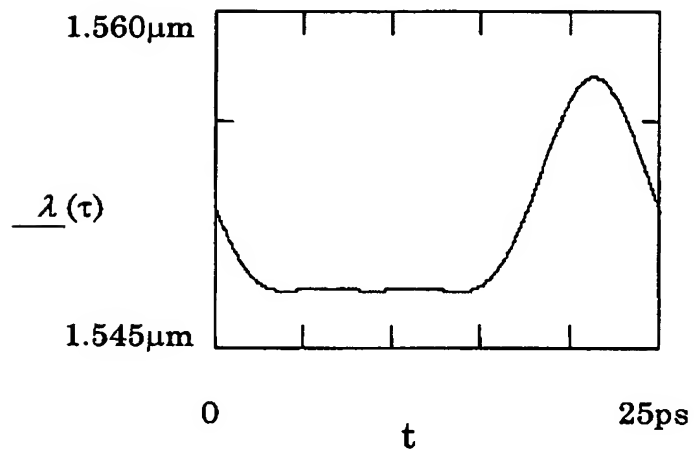
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【課題】 近似波形を簡単な構成で安価に発生する。

【解決手段】 本発明の一つでは波形合成方法は、所望の時間  $t$  の関数である波形  $n(t)$  を近似する波形  $g(t)$  を合成する方法であって、前記波形  $g(t)$  を構成する成分波形の周波数  $f_1$ 、 $\dots$   $f_m$  を決定するステップ、所定の一つ或いは複数の時間区間を設定するステップ、前記波形  $n(t)$  と前記成分波形の総和との差の自乗を前記時間区間に涉って積分した値が最小値をとるように前記成分波形のそれぞれの振幅と位相とを決定するステップ、及び、前記決定された振幅と位相とを有する前記成分波形の和として前記波形  $g(t)$  を与えるステップとを有する。

【選択図】 なし

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2002-202842
受付番号	50201017825
書類名	特許願
担当官	第七担当上席 0096
作成日	平成14年 7月12日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成14年 7月11日
【特許出願人】	
【識別番号】	399117121
【住所又は居所】	アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ペー ージ・ミル・ロード 395
【氏名又は名称】	アジレント・テクノロジーズ・インク
【代理人】	申請人
【識別番号】	100105913
【住所又は居所】	東京都八王子市高倉町9番1号 アジレント・テ クノロジー株式会社 法務知的財産部
【氏名又は名称】	加藤 公久

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 3 9 9 1 1 7 1 2 1 ]

1. 変更年月日 1 9 9 9 年 1 0 月 1 3 日

[変更理由] 新規登録

住 所 アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ページ・ミル・  
ロード 3 9 5

氏 名 アジレント・テクノロジーズ・インク